

Шихов Андрей Николаевич

**КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ И ОЦЕНКА
ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ ОПАСНЫХ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ НА
ТЕРРИТОРИИ УРАЛЬСКОГО ПРИКАМЬЯ**

Специальность 25.00.36 – геоэкология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Казань – 2013

Работа выполнена на кафедре картографии и геоинформатики Пермского государственного национального исследовательского университета

Научный руководитель: **Пьянков Сергей Васильевич**
Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой картографии и геоинформатики Пермского государственного национального исследовательского университета (г. Пермь)

Официальные оппоненты: **Саранча Михаил Александрович**
Доктор географических наук, доцент, зав. кафедрой природопользования и геоэкологического картографирования Удмуртского государственного университета (г. Ижевск)

Мозжерин Вадим Владимирович
Кандидат географических наук, доцент кафедры ландшафтной экологии Казанского (Приволжского) федерального университета (г. Казань)

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Кубанский государственный университет» (г. Краснодар)

Защита диссертации состоится 27 марта в 15 часов на заседании диссертационного совета Д.212.081.20 в ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» по адресу: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, корп.2, ауд. 1413.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского ФГАОУ ВПО «Казанский (Приволжский) федеральный университет».

Автореферат разослан « » февраля 2014 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат географических наук, доцент

Ю.Г. Хабутдинов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Опасные гидрометеорологические явления (ОГМЯ) представляют собой один из основных источников чрезвычайных ситуаций природного характера. Происходящие на современном этапе глобальные и региональные изменения климата могут стать причиной увеличения повторяемости, интенсивности ОГМЯ и масштабов ущерба от них. Это показано в работах А.И. Бедрицкого, Б.М. Доброумова, Н.В. Кобышевой, А.А. Коршунова, С.М. Семенова, В.И. Осипова, Ю.А. Панфутовой, Ю.П. Переведенцева.

Традиционно основное внимание уделяется социально-экономическому ущербу от ОГМЯ, однако в ряде случаев значительным оказывается и экологический ущерб. Экологический ущерб от ОГМЯ связан с потерями и уничтожением эксплуатируемых природных ресурсов (эколого-экономический ущерб), а также с влиянием экстремальных гидрометеорологических условий на опасные производственные объекты и урбанизированные территории, что может вызвать техногенные аварии (природно-техногенные катастрофы). Различные аспекты воздействия ОГМЯ на природные ресурсы, население и экономику рассматриваются в работах В.А. Акимова, Ю.Л. Воробьева, А.А. Коршунова, И.И. Мазура, С.М. Мягкова, В.И. Осипова и других авторов.

На территории Уральского Прикамья возможны 20 видов ОГМЯ. На фоне происходящих изменений глобального и регионального климата и регулярной корректировки критериев опасных явлений, актуальная систематизированная информация о климатических характеристиках ОГМЯ и наносимом ими ущербе для территории Уральского Прикамья отсутствует.

В условиях увеличения повторяемости ОГМЯ и связанных с ними рисков основным путем обеспечения безопасности окружающей среды, населения и экономики является совершенствование системы мониторинга и прогнозирования ОГМЯ, а также информационного обеспечения органов государственной власти, местного самоуправления и населения. Сложившаяся структура и функционирование региональной системы мониторинга ОГМЯ также не являются оптимальными. Между тем развитие технологий оперативного мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы и гидросферы позволяет значительно повысить эффективность региональной системы мониторинга ОГМЯ. Современная система мониторинга может быть основана на широком применении ГИС-технологий, средств и методов космического дистанционного зондирования и мезомасштабных моделей прогноза погоды.

Объектом исследования являются опасные гидрометеорологические явления, характерные для территории Уральского Прикамья.

Предмет исследования – пространственно-временные особенности распределения опасных гидрометеорологических явлений и их геоэкологических последствий на территории Уральского Прикамья.

Цель исследования – совершенствование регионального мониторинга опасных гидрометеорологических явлений и оценка их геоэкологических последствий средствами ГИС-технологий на основе данных наземных, спутниковых наблюдений и моделей прогноза погоды.

Достижение данной цели потребовало решения следующих **задач**:

1. Обобщить российский и зарубежный опыт создания и использования систем мониторинга ОГМЯ на базе ГИС-технологий.
2. Выявить закономерности пространственно-временного распределения ОГМЯ на территории Уральского Прикамья в современный период.
3. Разработать методы комплексного мониторинга ОГМЯ и оценки ущерба от них для природно-ресурсного потенциала Уральского Прикамья и выполнить их валидацию на материалах многолетних наблюдений.
4. Разработать и наполнить информационно-аналитический web-картографический ресурс для обеспечения пользователей оперативными фактическими и прогностическими данными об ОГМЯ.

Для решения поставленных задач применялся комплекс **методов**: экспертные оценки; пространственно-временной анализ; геоинформационное картографирование; методы дешифрирования данных дистанционного зондирования Земли (мультивременной анализ, вегетационные индексы, неуправляемая классификация, экспертное дешифрирование); методы растровой алгебры, интерполяции поверхностей, математико-картографическое моделирование средствами ГИС-технологий; корреляционный и регрессионный анализ.

Информационная база исследования

Исходными материалами послужили «Метеорологические ежемесячники» (1981-2012 гг., Уральское УГМС); срочные данные гидрометеорологических наблюдений (за 1999-2013 гг.); оперативные и архивные (за 2001-2013 гг.) данные ДЗЗ со спутников NOAA, TERRA, AQUA, LANDSAT 5/7/8, SPOT 4/5, WorldView-2; цифровые векторные карты М 1:1 000 000, М 1:200 000 (Роскартография, РФ); результаты счета численных моделей прогноза погоды GFS/NCEP и WRF/ARW, архив данных метеорологического радиолокатора МРЛ-5.

Личный вклад

Решение задач диссертационного исследования – выбор методов, сбор и обработка данных, анализ и обобщение полученных результатов выполнялись автором самостоятельно. Подготовка к печати научных работ, отражающих результаты исследований, осуществлялась как самостоятельно, так и при участии соавторов.

Научная новизна работы заключается в том, что для территории Уральского Прикамья впервые:

1. Систематизированы данные о режиме ОГМЯ, а также о видах и масштабах социально-экономического и экологического ущерба от них и построены карты повторяемости некоторых ОГМЯ с учетом высотных зависимостей.

2. Разработан комплекс методик мониторинга опасных гидрологических явлений в период прохождения весеннего половодья, включая математико-картографическую модель формирования и таяния снежного покрова.
3. С учетом региональных особенностей, адаптирована методика космического мониторинга засух, основанная на многолетних рядах индекса условий вегетации.
4. Методами мультिवременного анализа многолетних рядов данных ДЗЗ оценены геоэкологические последствия опасных метеорологических явлений и крупных пожаров для лесных ресурсов региона.
5. Разработана структура и проведено наполнение веб-картографического ресурса геоинформационного обеспечения органов государственной власти регионального уровня фактическими и прогнозными данными.

Основные положения и результаты исследования, выносимые на защиту

1. В результате проведенного комплексного пространственно-временного анализа на территории Уральского Прикамья выявлены зоны наибольшей подверженности опасным гидрометеорологическим явлениям.
2. Применение методов математико-картографического моделирования и дешифрирования данных ДЗЗ позволило значительно повысить точность расчета и прогноза запасов воды в снеге и интенсивности снеготаяния с учетом влияния орографии и растительного покрова, что необходимо для мониторинга и прогнозирования опасных гидрологических явлений на региональном уровне.
3. На основе анализа многолетних рядов данных ДЗЗ проведена оценка повторяемости, интенсивности некоторых ОГМЯ и ущерба от них с высокой детальностью и оперативностью, которой невозможно достичь при использовании традиционных методов.
4. На основе разработанного web-картографического ресурса «Опасные природные явления Пермского края» решаются задачи геоинформационного обеспечения органов государственной власти регионального уровня фактическими и прогностическими данными об ОГМЯ.

Практическая значимость работы

Исследования, положенные в основу диссертационной работы, выполнялись в рамках реализации нескольких научных проектов: грантов РФФИ № 11-05-00858-а «Комплексный подход в исследовании процессов снеготаяния на водосборах рек» и № 11-05-96026-урал-а «Прогнозирование интенсивности процессов снеготаяния методами геостатистического анализа»; грантов Министерства образования и науки РФ № 2012-4.В37.21.1891 «Разработка технологии оперативного мониторинга и прогноза затопления территории при образовании ледового затора» и № 2011-1.2.1-220-010-086 «Влияние циклонической деятельности на условия формирования снежного покрова на Урале».

Полученные автором результаты нашли применение при выполнении НИР по заказам Министерства общественной безопасности Пермского края: «Выполнение работ по расчету прогнозных данных об уровнях воды в реках Пермского края в 2011 г. на основе обработки данных дистанционного зондирования Земли» и «Формирование перечня угроз возникновения ЧС в рамках установленной классификации в паводковый период на основе данных, полученных с космических аппаратов дистанционного зондирования Земли».

Результаты диссертационного исследования используются в учебном процессе на географическом факультете ПГНИУ: при подготовке студентами курсовых работ, при разработке практических занятий по курсам «Данные дистанционного зондирования Земли в картографии», «Геоинформационные технологии», «Геоинформационные системы».

Апробация результатов работы проводилась на 8 конференциях различного уровня: Конференция молодых ученых «Использование геоинформационных систем и данных дистанционного зондирования Земли при решении пространственных задач» (Пермь – Астрахань – Пермь, 2011 г.); XIX Конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2012» (Москва, 2012 г.); V Всероссийская конференция «Геоинформационные технологии и космический мониторинг» (Новороссийск, 2012 г.); IV, V и VI Межрегиональные научно-практические конференции «Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края» (Пермь, 2011, 2012, 2013 гг.); Всероссийская конференция молодых специалистов по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Обнинск, 2012 г.); II Всероссийская конференция с международным участием «Окружающая среда и устойчивое развитие регионов» (Казань, 2013 г.).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 27 работ, в том числе 6 статей в журналах, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертационных исследований.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и 13 приложений. Материал работы изложен на 190 страницах машинописного текста, содержит 45 рисунков, 20 таблиц. Список использованных источников включает 165 наименований.

Автор выражает благодарность за помощь и поддержку – научному руководителю, канд. техн. наук, доц., зав. кафедрой картографии и геоинформатики ПГНИУ С.В. Пьянкову; за внимание, проявленное к работе, и ценные замечания – д-ру геогр. наук, проф., зав. кафедрой метеорологии и охраны атмосферы ПГНИУ Н.А. Калинину и канд. геогр. наук, доц. кафедры картографии и геоинформатики ПГНИУ Е.Б. Соболевой; за помощь в сборе материалов – канд. геогр. наук Ю.Н. Шавниной; за предоставление данных численной модели прогноза погоды WRF/ARW – канд. геогр. наук, доц. кафедры метеорологии и охраны атмосферы ПГНИУ Е.М. Свизову и А.Л. Ветрову.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность работы, излагаются цели и задачи исследования, дана оценка их научной новизны и практической значимости, сформулированы защищаемые положения.

В первой главе рассматриваются опасные гидрометеорологические явления (ОГМЯ), характерные для территории России в целом и Уральского Прикамья в частности, вызываемые ими чрезвычайные ситуации и современные методы их мониторинга. Описана существующая система мониторинга ОГМЯ и природных ЧС в России и в Пермском крае. Проанализированы исходные материалы наблюдений за ОГМЯ на территории Уральского Прикамья. Рассмотрен российский и зарубежный опыт применения ГИС-технологий и данных дистанционного зондирования Земли в целях мониторинга ОГМЯ и оценки ущерба от них.

Во второй главе рассмотрен режим опасных гидрометеорологических явлений на территории Уральского Прикамья в современный период (с 1981 по 2012 гг). Выявлены особенности пространственно-временного распределения повторяемости и возможной интенсивности ОГМЯ, определены виды и масштабы социально-экономического и экологического ущерба от них. Построены карты повторяемости некоторых ОГМЯ с учетом высотных зависимостей (рис. 1). В результате проведенного анализа получены следующие основные выводы:

1. Из опасных метеорологических явлений максимальную повторяемость на территории Уральского Прикамья имеют сильные морозы (5-20 случаев/10 лет), а в горных районах – также очень сильные дожди (6-8 случаев/10 лет). Из гидрологических опасных явлений наиболее характерны подъемы уровней воды до опасных отметок при прохождении весеннего половодья. Дождевые паводки и подъемы уровней воды, связанные с ледовыми заторами редко достигают критерия опасного явления.

2. Повторяемость большинства видов ОГМЯ в горных районах выше, чем на равнине, а некоторые из них (Кизеловская бора и сложные гололедно-изморозевые отложения) характерны только для горной части региона. Повторяемость всех видов опасных метеорологических явлений в значительной степени определяется орографическим фактором и локальными условиями расположения пунктов наблюдений. При картографировании климатических характеристик ОГМЯ необходимо учитывать высотные зависимости.

3. В период с 1981 по 2012 г. на исследуемой территории наблюдается снижение повторяемости сильных морозов, поздних весенних снегопадов и увеличение повторяемости сильной жары. Для осадков опасной интенсивности, сильных ветров и метелей, тренд повторяемости не обнаруживается. Оценка динамики повторяемости конвективных явлений затруднена из-за небольшого числа случаев и неоднородности массива исходных данных.

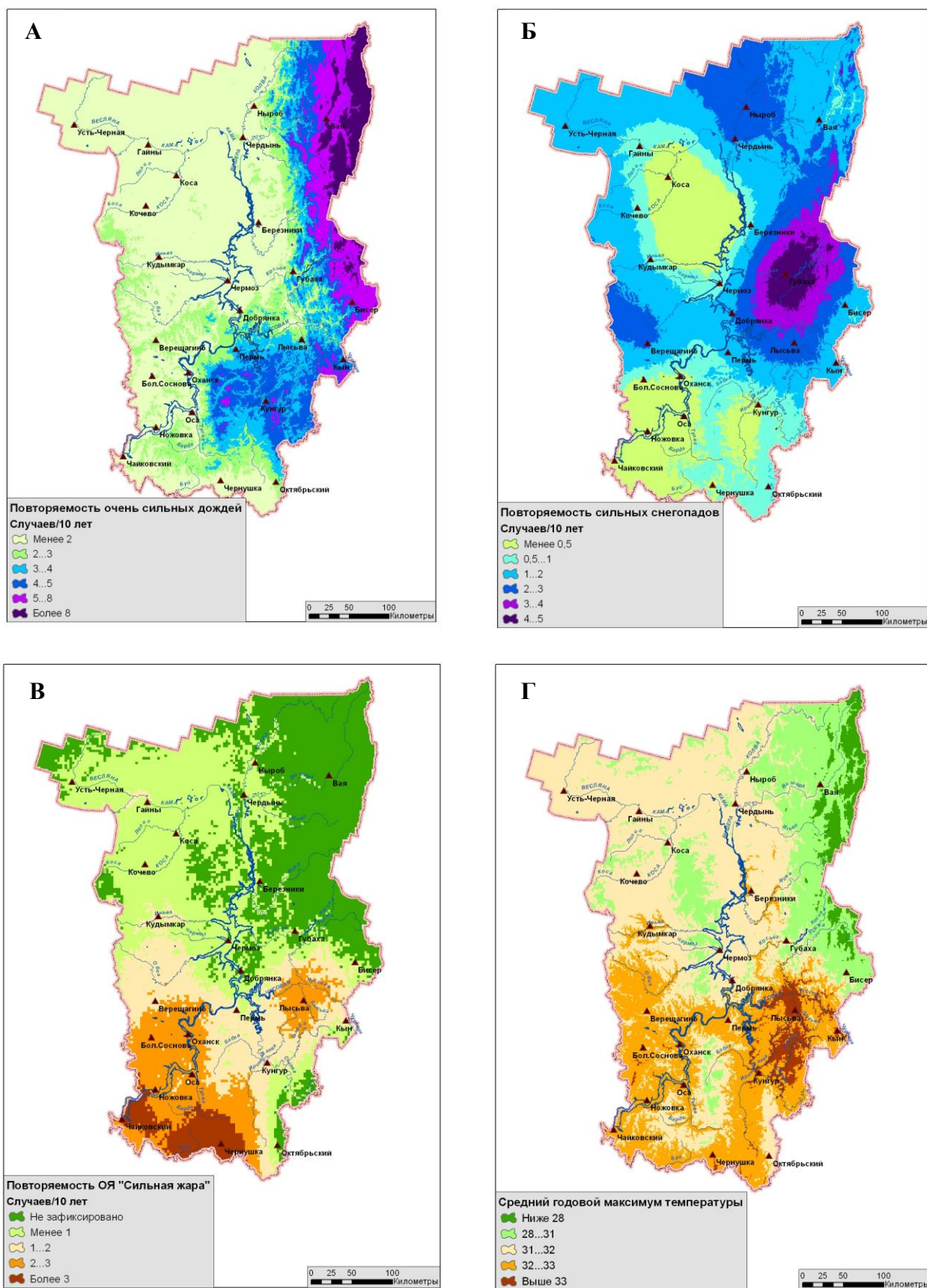


Рис. 1. Карты повторяемости опасных метеорологических явлений: А – очень сильные дожди; Б – сильные снегопады; В – сильная жара; Г – средний годовой максимум температуры воздуха

4. Значительный ущерб природно-ресурсному потенциалу региона наносят засухи, сильные шквалы, интенсивные ливни, наводнения, связанные с весенним половодьем или дождевыми паводками. Ущерб связан с уничтожением лесных ресурсов в результате лесных пожаров и воздействия сильных ветров, с уничтожением почвенного покрова в результате интенсивной водной эрозии, с катастрофическим загрязнением водных объектов в периоды наводнений.

5. Наибольший социально-экономический ущерб наносят те случаи ОЯ, когда экстремальная интенсивность и/или продолжительность явления сочетается со значительным охватом территории. Основной ущерб от них несут сельское, лесное хозяйство, ЖКХ, электроэнергетика и транспорт.

6. Приоритетной на региональном уровне является организация мониторинга опасных гидрологических явлений в период прохождения половодья, с которыми связан наиболее значительный ущерб. В целях оперативной оценки геоэкологических последствий ОГМЯ, приоритетной является организация космического мониторинга таких явлений как засухи, лесные пожары и массовые ветровалы.

В третьей главе рассматриваются методы регионального мониторинга опасных гидрометеорологических явлений и оценки их геоэкологических последствий средствами ГИС-технологий.

Параграф 3.1 посвящен комплексному региональному мониторингу опасных гидрологических явлений в период прохождения весеннего половодья. В п. 3.1.1. проведена оценка возможного ущерба в результате затопления населенных пунктов при прохождении половодий редкой повторяемости. Всего рассмотрено 65 населенных пунктов (из которых 35 расположены в нижних бьефах гидротехнических сооружений). В качестве исходных данных для моделирования зон затопления, использовались детальные цифровые модели рельефа, полученные на основе топографических карт масштаба 1:10000 – 1:25000 и данные о застройке территории. Моделирование производилось средствами ГИС-технологий (ArcGis 9*, ArcView 3*).

На территориях, по которым имеются оценки возможного ущерба от затопления, при прохождении половодья 1% обеспеченности могут быть затоплены: 1680 жилых домов в 32 населенных пунктах (в случае возможного разрушения противопаводковых дамб в г. Кунгуре и с. Посад число потенциально затапливаемых жилых домов возрастает до ~3200); промышленные площадки 12 предприятий (без учета предприятий г. Кунгура, защищенных противопаводковыми дамбами), из которых 6 расположены в г. Краснокамске и 3 – в г. Губахе; биологические очистные сооружения в нижних бьефах Павловского и Очерского водохранилищ, а также водозабор в г. Губахе.

Таким образом, вероятный ущерб от прохождения весенних половодий редкой повторяемости на реках Уральского Прикамья является весьма значительным, что подтверждает необходимость оперативного мониторинга и прогнозирования опасных гидрологических явлений.

В п. 3.1.2. рассмотрена методика геоинформационного моделирования процессов формирования и таяния снежного покрова на водосборах рек Уральского Прикамья, которые являются важнейшим фактором, определяющим объем стока, максимальные уровни и расходы воды весеннего половодья. Объектом исследования является водосбор Воткинского водохранилища (площадь 184 тыс.км²). Исходя из низкой плотности сети наблюдений на данной территории, размер модельной ячейки принят равным 3000 м. Временной шаг модели снеготаяния принимается равным 12 или 24 ч. (при использовании разных методов). В качестве периода исследования выбраны 2010–2013 гг., достаточно разнообразные и репрезентативные по условиям формирования и таяния снежного покрова.

Входными данными в модели снеготаяния являются цифровая модель рельефа, карта типизации растительного покрова, максимальные запасы воды в снежном покрове, ежедневные данные наблюдений метеостанций (в зависимости от выбора метода расчета интенсивности снеготаяния используется различный набор входных метеорологических данных), данные ДЗЗ низкого и среднего разрешения. Выходные данные – площадь заснеженности, запас воды в снеге и поступление талых вод на водосборы рек (с суточным шагом). Подготовка данных и расчеты выполнены средствами программных продуктов ArcGis 10.1, Scanex Image Processor 3.6.12 и SAGA 2.0.

Расчет интенсивности снеготаяния на водосборах рек выполнен на основе трех различных методов: метода П.П. Кузьмина, метода Е.Г. Попова и по среднесуточной температуре воздуха. Метод П.П. Кузьмина основан на решении уравнения теплового баланса снежного покрова в предположении, что температура тающего снега равна 0°, он физически наиболее обоснован, но и наиболее требователен к исходным данным. В качестве входных метеорологических данных в модели снеготаяния (при расчете по методу П.П. Кузьмина), используются поля температуры и влажности воздуха, скорости ветра, суммарной солнечной радиации, общей и нижней облачности, жидких и твердых осадков.

Восстановление входных полей метеоэлементов за каждый день периода снеготаяния выполнялось средствами ГИС-технологий, с применением методов интерполяции и растровой алгебры. При этом использовались как фактические данные наблюдений, так и прогнозные данные численных моделей атмосферы GFS/NCEP и WRF/ARW, учитывался высотный градиент.

Расчет максимального снегозапаса производился на основе различных входных данных: по данным маршрутных снегомерных съемок, по данным об осадках холодного периода и на основе прогнозных полей осадков по мезомасштабной модели атмосферы WRF/ARW (с пространственным разрешением 10 км). При использовании первых двух методов, вертикальный градиент осадков и снегозапасов принимался равным 15%/100 м на равнине и 10%/100 м в горах. Третий метод, в котором в качестве исходных данных используются поля осадков по модели WRF/ARW, позволяет объективно учесть вертикальный градиент осадков и изменение их фазы с высотой.

Для учета влияния различных типов растительного покрова, была построена карта типизации растительности на водосборе Воткинского водохранилища. Поправочные коэффициенты для оценки снегонакопления в различных типах леса задавались в соответствии с рекомендациями, предложенными в работах В.А. Шутова. Снеготаяние при оттепелях рассчитывалось по средней суточной температуре воздуха.

Расчет поступления талых вод на водосборы рек выполнялся в соответствии с методикой А.Г. Ковзеля, с учетом водоудерживающей способности снега. Для лесных и безлесных частей водосбора были заданы типовые кривые распределения снегозапаса, описывающие перераспределение снега на мезо-и микрорельефе. Результаты моделирования процесса снеготаяния (на примере 2013 г.) показаны на рис. 2.

Валидация результатов моделирования проведена по данным снегомерных съемок и по космическим снимкам (Terra/Aqua MODIS и LANDSAT). Пример сопоставления фактической и расчетной заснеженности территории приведен на рис. 3.

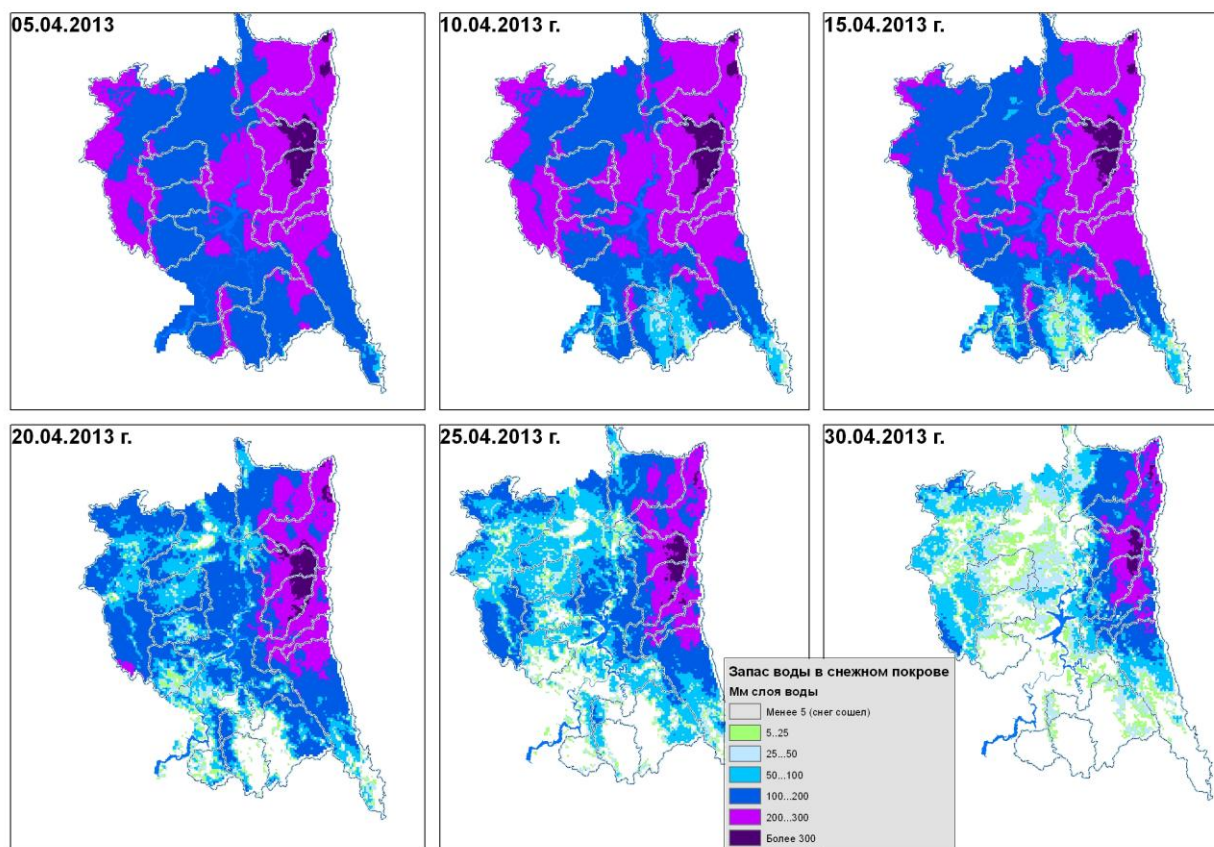


Рис.2. Динамика процесса снеготаяния в 2013 г. на водосборе Воткинского водохранилища

Дешифрирование снежного покрова по данным MODIS основано на расчете индекса NDSI. Пороговое значение NDSI принималось равным 0,35. Все пиксели, имеющие значение NDSI больше порогового, рассматривались как заснеженные: на безлесных участках – на 50% и более площади, на лесных

участках – на 80% и более площади. Таким образом, была сопоставлена фактическая и расчетная площадь снежного покрова на участках, не закрытых облачностью, за отдельные (малооблачные) дни в период снеготаяния. Результаты сопоставления фактической и расчетной заснеженности (в апреле 2011 и 2013 г.) приведены в табл. 1, 2.

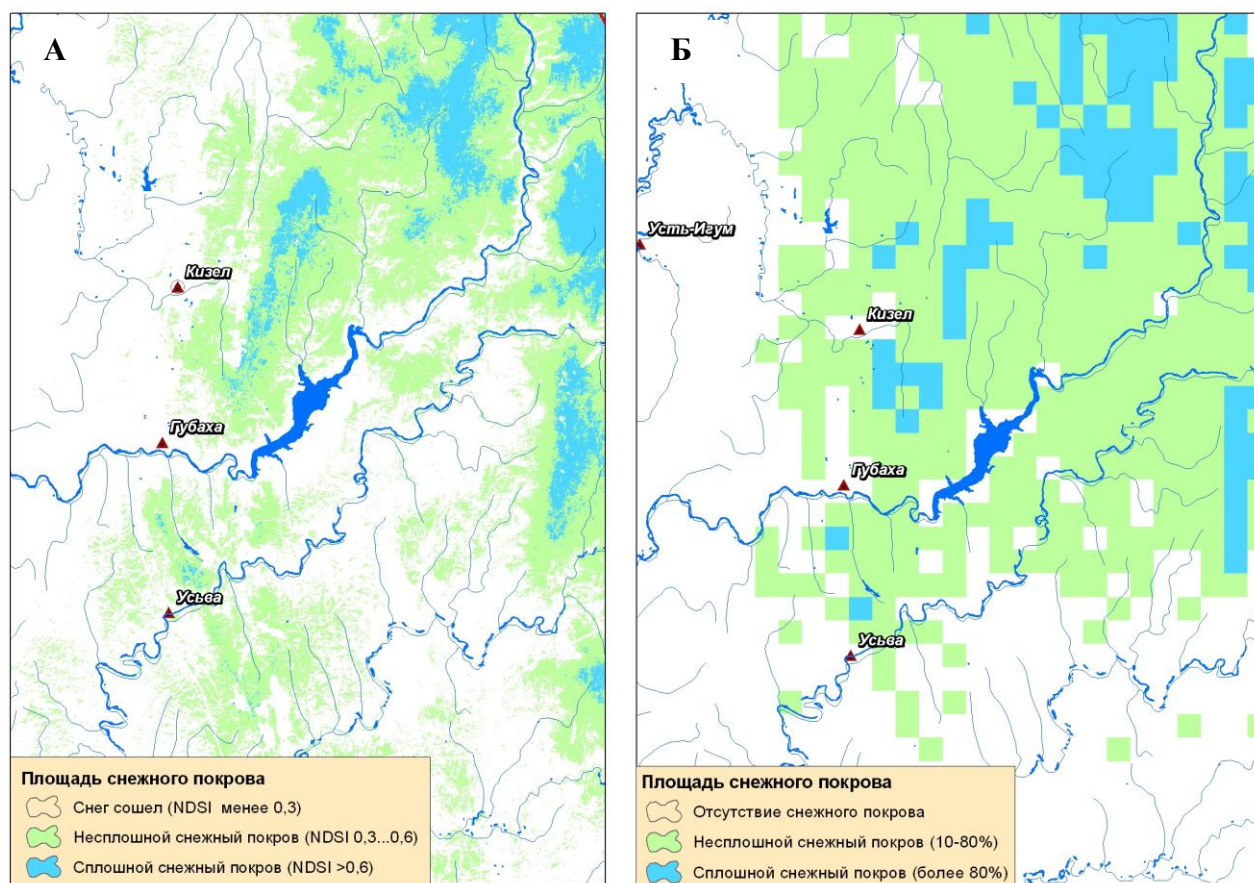


Рис. 3. Сопоставление фактической (А) и расчетной (Б) заснеженности на горных водосборах за 04.05.2011

Таблица 1

Сопоставление расчетной и фактической заснеженности территории весной 2011 г.

Дата		16.04.11	17.04.11	27.04.11	28.04.11	01.05.11	05.05.11
Площадь, свободная от облачности, тыс.кв.км		38	68,5	106,2	46,3	96,4	183,6
Площадь снежного покрова, %	Факт	74,0	80,7	37,0	60,0	41,0	10,0
	Расчет	83,0	91,0	50,0	59,0	45,0	7,4

Таблица 2

Сопоставление расчетной и фактической заснеженности территории весной
2013 г.

Дата		15.04.13	20.04.13	21.04.13	25.04.13	05.05.13
Площадь, свободная от облачности, тыс. кв. км		156,3	65,3	65,1	62,1	150,6
Площадь снежного покрова, %	Факт	91	68	34	62	15
	Расчет	97	70	49	50	18

Сравнение фактического (по данным снегомерных съемок) и расчетного запаса воды в снежном покрове выполнено отдельно для полевых, лесных снегомерных маршрутов и для пунктов, в которых снегомерные съемки проводятся как в лесу, так и в поле. Достоверность результатов расчета оценивалась по величине среднеквадратической ошибки (табл. 3).

В большинстве случаев среднеквадратическая ошибка расчета находится в пределах 15-30% от величины снегозапаса. Причинами отклонений расчетного снегозапаса от фактического являются завышение интенсивности снеготаяния, недооценка водоудерживающей способности снега, неточности при расчете максимального накопленного снегозапаса, нерепрезентативность снегомерных маршрутов в сравнении с окружающей территорией (типичная для водосборов горных рек), а также возможные ошибки при снегомерных наблюдениях на гидропостах.

Таблица 3

Среднеквадратические ошибки результатов расчета запаса воды в снежном покрове (мм)

Год	Тип снегомерного маршрута	Среднеквадратическая ошибка расчета
2010	Только лес	39,4
	Только поле	22,8
	Среднее (для станций с двумя маршрутами)	27,4
2011	Только лес	43,5
	Только поле	27
	Среднее (для станций с двумя маршрутами)	33,3
2012	Только лес	28
	Только поле	27,8
	Среднее (для станций с двумя маршрутами)	26,4
2013	Только лес	47
	Только поле	57,1
	Среднее (для станций с двумя маршрутами)	41,9

В п. 3.1.3 рассматриваются вопросы организации космического мониторинга прохождения весеннего половодья на реках Уральского Прикамья. Описаны используемые спутниковые данные и технологии их обработки. По многолетним архивам данных Terra/Aqua MODIS (за 2001-2013 гг.) и LANDSAT (за 1987-2013 гг.) проанализирована повторяемость затопления пойм крупных рек на территории Пермского края (рис. 4).

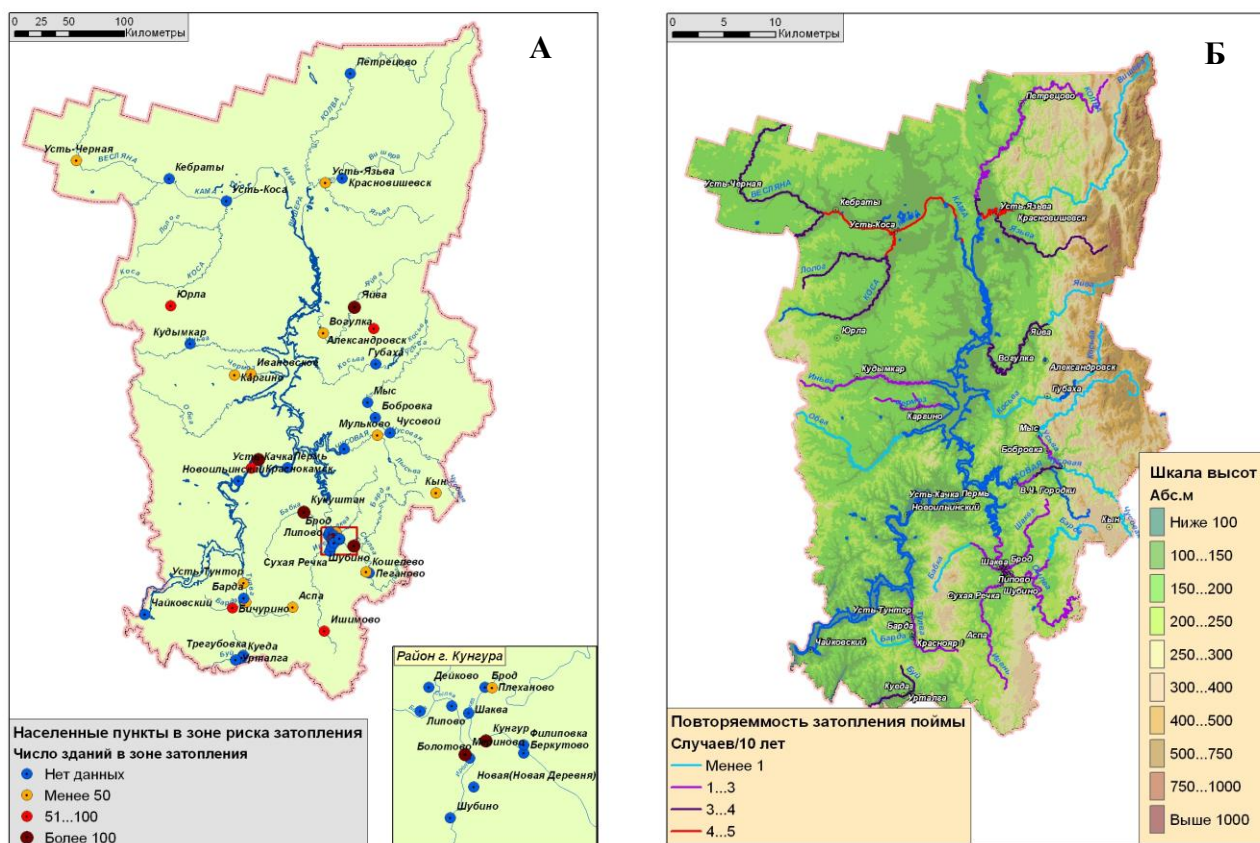


Рис. 4. Анализ опасности затопления территории: А – населенные пункты, подверженные риску затопления; Б – оценка повторяемости затопления пойм в 2001 – 2013 гг. по данным Terra/Aqua MODIS

В параграфах 3.2 и 3.3. рассматриваются методы мониторинга и оценки экологических последствий ОГМЯ по многолетним рядам данных дистанционного зондирования Земли. Параграф 3.2. посвящен космическому мониторингу засух на территории Уральского Прикамья, на основе многолетнего ряда (за 2003-2013 гг.) вегетационных индексов: NDVI и индекса условий вегетации VCI, рассчитанных по данным Terra MODIS.

Индекс условий вегетации рассчитывается по формуле:

$$VCI_j = (NDVI_j - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}) \times 100\%,$$

где VCI_j – значение индекса условий вегетации для даты j ; $NDVI_j$ – индекс NDVI значений для даты j ; $NDVI_{max}$ – максимальное значение NDVI внутри всего набора данных; $NDVI_{min}$ – минимальное значение NDVI внутри всего набора данных.

Индекс условий вегетации позволяет учесть естественное изменение спектральных характеристик растительности в течение вегетационного периода, уменьшает влияние мешающих факторов, позволяет сравнивать между собой отсчеты NDVI в разных ландшафтах и при разных погодных условиях. Расчет индекса условий вегетации выполнялся на основе декадных композитов NDVI (максимальных значений NDVI за декаду), что позволило устранить влияние облачности и задымления от пожаров.

По многолетнему ряду декадных композитов вычислены норма (средние значения), максимумы и минимумы NDVI для каждой декады. На их основе получены многолетние ряды индекса условий вегетации VCI и проведена оценка состояния растительности по трем градациям:

- $0 < VCI < 30\%$ – ниже многолетней нормы, оценка «плохое состояние»;
- $30\% < VCI < 70\%$ – близко к многолетней норме, оценка «норма»;
- $70\% < VCI < 100\%$ – выше многолетней нормы, «хорошее состояние».

Построены декадные карты условий вегетации и выполнен сравнительный анализ развития засух летом 2010 и 2013 гг. (по данным спутниковых и наземных наблюдений). На рис. 5 представлена карта состояния растительности при засухе в южной части Уральского Прикамья в июне-августе 2010 г. (только для безлесной территории), а на рис. 6 – распределение площадей сельхозугодий с различными условиями вегетации в этот же период.

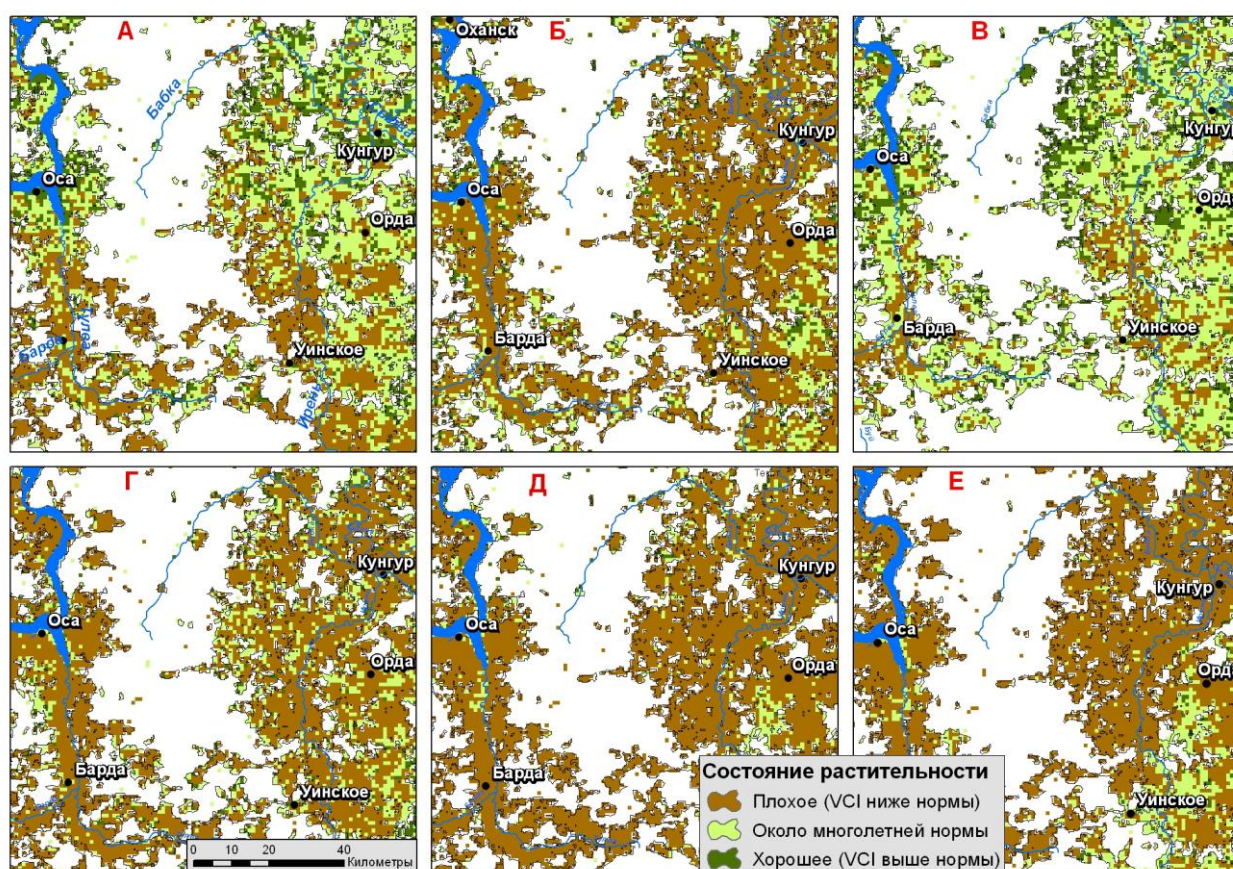


Рис. 5. Развитие засухи летом 2010 г.: А – 3-я декада июня; Б – 1-я декада июля; В – 2-я декада июля; Г – 3-я декада июля; Д – 1-я декада августа; Е – 2-я декада августа

Сопоставление индекса условий вегетации VCI с гидротермическим коэффициентом Г.Т. Селянинова (ГТК) указывает на зависимость условий вегетации от условий увлажнения. ГТК рассчитывался за летний период методом скользящего осреднения по шести декадам (в июне – по трем декадам), чтобы оценить накопленную засушливость. Коэффициент корреляции между рассчитанным таким образом ГТК и индексом условий

вегетации составляет 0,64. Проверка с использованием t-критерия Стьюдента подтверждает статистическую значимость выявленной зависимости.

Методика мониторинга засух на основе индекса условий вегетации VCI позволяет, таким образом, выявить пространственно-временные закономерности развития засухи и оценить ее интенсивность, а при накоплении более длительного ряда спутниковых наблюдений (не менее 15 лет) оценить также повторяемость засух на исследуемой территории.

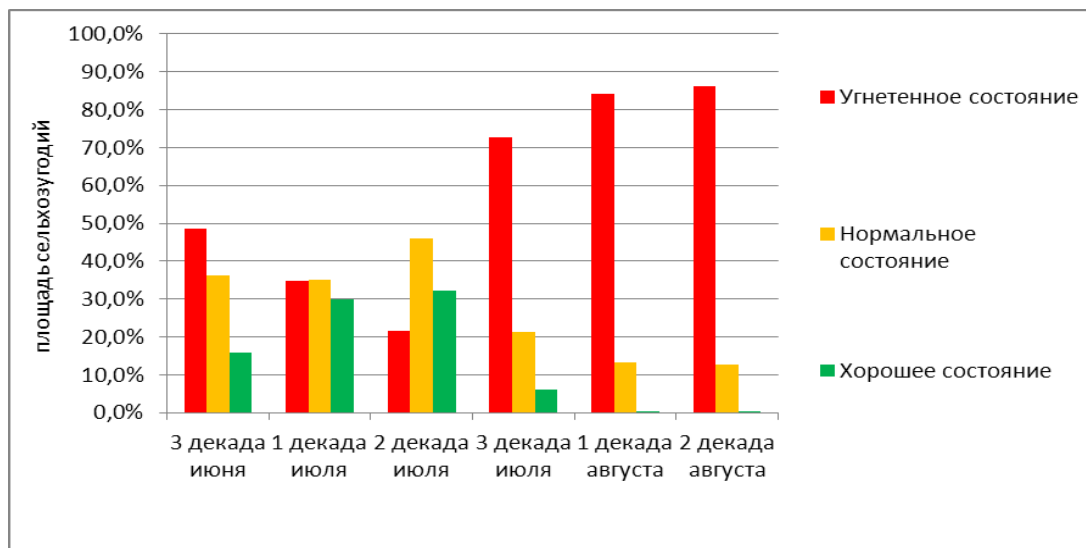


Рис. 6. Распределение площадей сельхозугодий с различными условиями вегетации в июне-августе 2010 г.

Параграф 3.3. посвящен оценке ущерба от опасных метеорологических явлений для лесных ресурсов Уральского Прикамья. На исследуемой территории наибольший ущерб для лесного фонда связан с воздействием сильных ветров и лесных пожаров. Площадь полностью погибших насаждений за 2001-2012 гг. от крупных пожаров превышает 42 тыс. га, от ветровалов – 11 тыс. га. Значительная их часть приходится на ценные участки леса и малонарушенные лесные территории.

Региональный мониторинг последствий пожаров и ветровалов ведется на основе космических снимков LANDSAT-5/7/8 (за период с 1999 по 2013 г.); также используются данные SPOT-4 и SPOT-5. По снимкам LANDSAT автоматизированными методами выявляются участки повреждений, а данные высокого разрешения используются для уточнения контуров и анализа пространственной структуры гарей и ветровалов, и для валидации результатов автоматизированного дешифрирования.

Автоматизированное дешифрирование гарей и ветровалов выполнено по пороговой методике, основанной на разности коротковолнового вегетационного индекса SWVI. Ее эффективность обусловлена тем, что при повреждении растительности наряду со снижением фотосинтеза и уменьшением яркости в ближней инфракрасной области спектра, происходит значительный рост отражательной способности в средней инфракрасной зоне,

связанный с уменьшением содержания влаги в листьях (хвое). Индекс SWVI рассчитывается по формуле:

$$SWVI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR),$$

где *NIR* – спектральная яркость в ближней инфракрасной зоне, *SWIR* – спектральная яркость в коротковолновой инфракрасной зоне.

Для выявления участков повреждений использовался порог разности индекса *SWVI* ($\Delta SWVI$), равный 1,5 стандартных отклонений. Отделение ветровалов от вырубок выполнялось вручную, по геометрической форме объектов, а для отделения гарей использовался архив данных о лесных пожарах с сервиса FIRMS.

Результаты дешифрирования большинства гарей и ветровалов подтверждены по снимкам высокого разрешения. Детальная валидация результатов проведена на участке Кочевского лесничества площадью 250 км², который сильно пострадал от ветровала 18.07.2012, по мультиспектральному снимку WorldView-2 (пространственное разрешение 2 м). По нему были оцифрованы контуры ветровалов (всего 506 участков на общей площади 1596 га), и сопоставлены с результатами автоматизированного дешифрирования по снимку LANDSAT. Распределение участков ветровала по градациям площади показано на рис. 7.

Автоматизированное дешифрирование разновременных снимков LANDSAT позволяет выявить около 50% общей площади ветровалов. Площадь ветровалов на анализируемом участке, выявленных в автоматизированном режиме по снимку LANDSAT, в 1,9 раза меньше, чем по снимку WorldView-2. Это связано как с пропуском мелких участков ветровала, так и с занижением их площади. Средняя площадь участка ветровала, определенная по снимку WorldView-2 составляет 3,1 га, а по снимку LANDSAT-5 – 1,7 га.

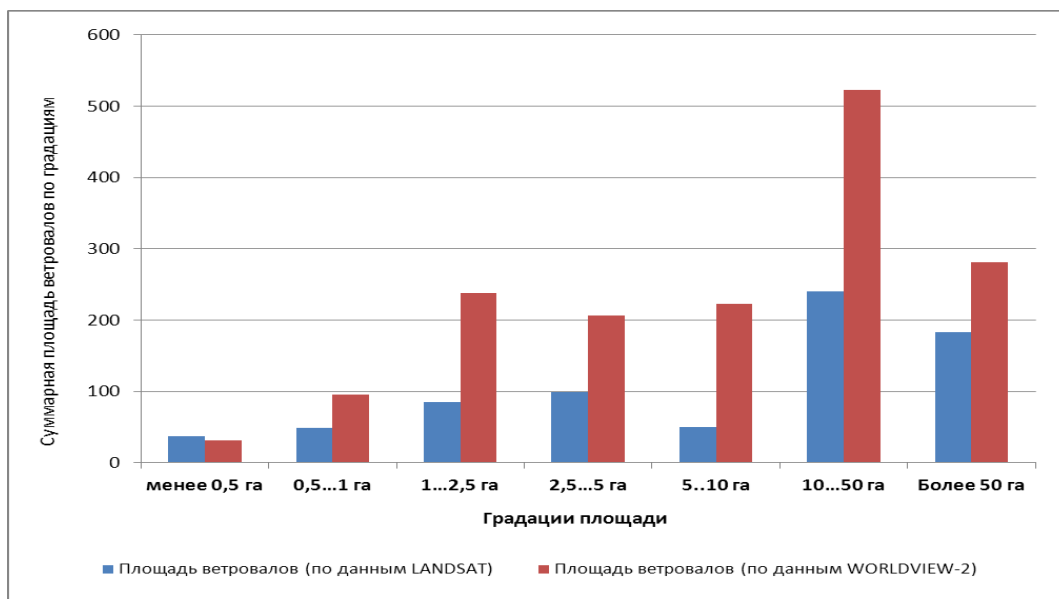


Рис.7. Распределение площадей ветровалов по градациям, определенное по снимкам LANDSAT-5 и WorldView-2

На основе вышеописанной методики созданы карты пространственного распределения крупных лесных пожаров и ветровалов на территории Уральского Прикамья за 2001-2012 гг. (рис. 8).

Для арендованной территории выполнена также оценка распределения потерь лесных ресурсов по возрасту и породному составу. Повышенная повторяемость крупных пожаров на северо-западе исследуемой территории объясняется распространением сосновых лесов с высокой природной пожароопасностью. От ветровалов также страдают преимущественно спелые и перестойные насаждения с преобладанием хвойных пород на севере Пермского края. В меньшей степени от стихийных явлений страдают малоценные мелколиственные леса, произрастающие на старых вырубках.

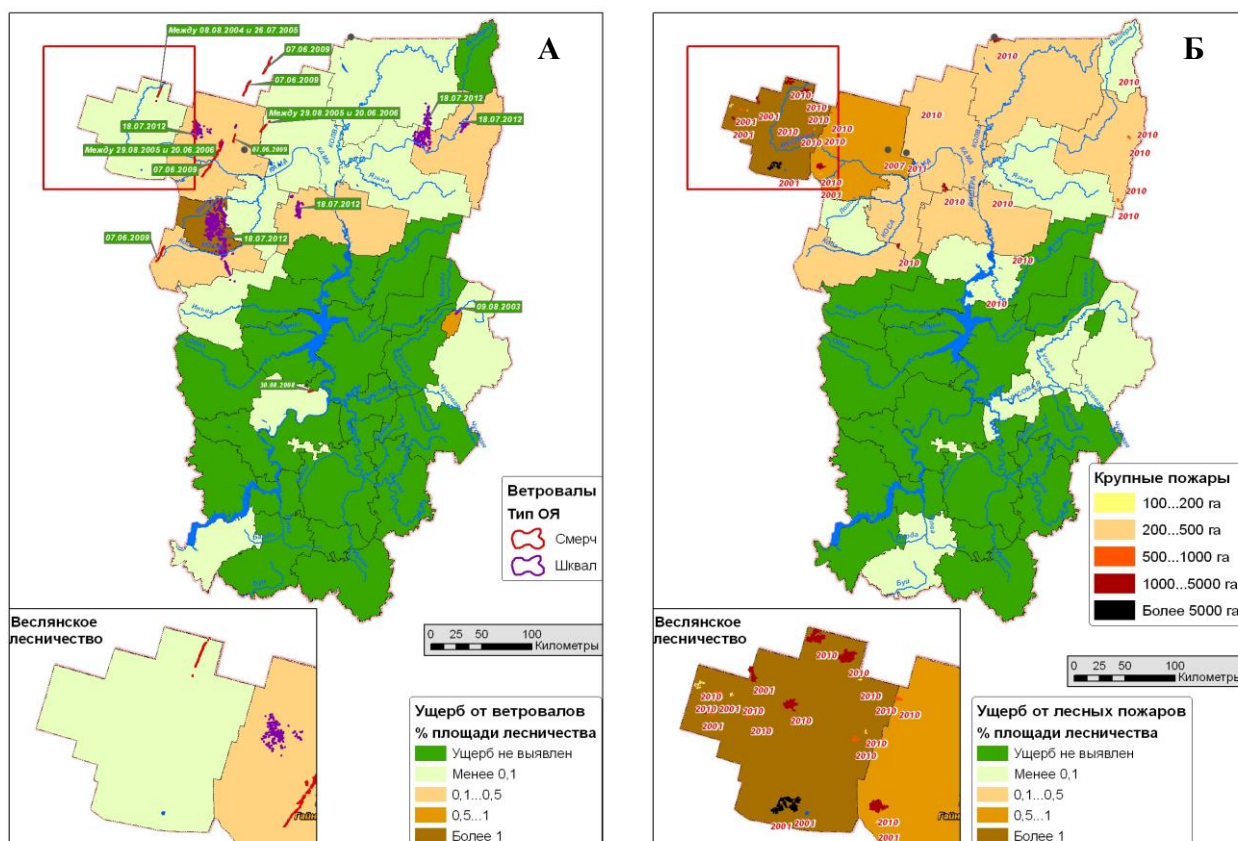


Рис. 8. Пространственное распределение крупных лесных пожаров и массовых ветровалов на территории Уральского Прикамья в период 2001 – 2012 гг: А – ветровалы, Б – пожары

Параграф 3.4 посвящен повышению эффективности мониторинга ОГМЯ на региональном уровне, разработке подсистемы геоинформационного обеспечения органов власти и населения оперативной фактической и прогностической информацией. В п. 3.4.1 представлена концепция региональной ГИС мониторинга ОГМЯ. Рассмотрены ее основные подсистемы (ввода, хранения, обработки данных, пространственного моделирования, прогноза ОГМЯ, публикации информационных продуктов). Созданы веб-картографические сервисы для публикации прогнозных данных и данных космического мониторинга (рис. 9) и обновляемая база данных об опасных

гидрометеорологических явлениях на территории Пермского края в период с 1991 г. по настоящее время.

В п. 3.4.2. рассмотрена структура и наполнение информационно-аналитического web-картографического ресурса «Опасные природные явления Пермского края», созданного в целях информационного обеспечения пользователей оперативными фактическими и прогностическими данными.

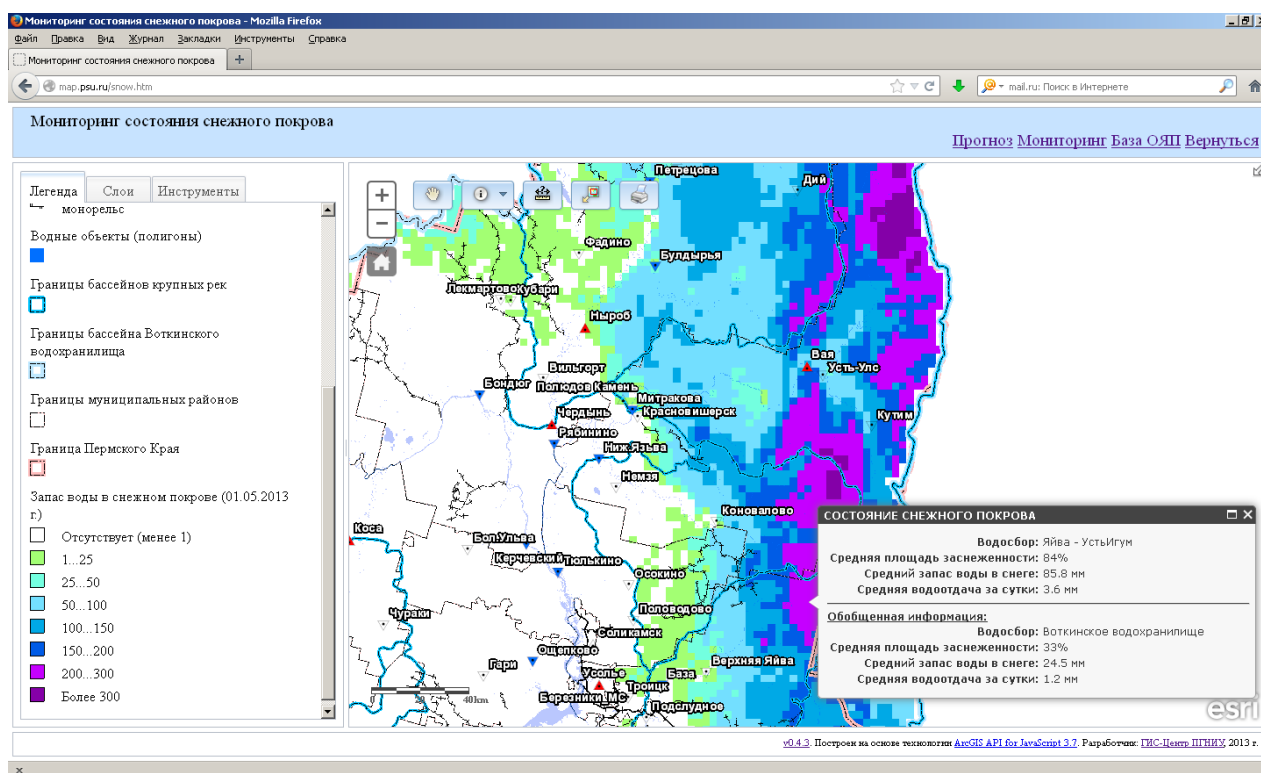


Рис. 9. Веб-картографический сервис мониторинга опасных гидрометеорологических явлений

В **Заключении** сформулированы основные выводы, полученные в результате работы:

1. Наибольшую повторяемость среди опасных метеорологических явлений на территории Уральского Прикамья имеют сильные морозы (5-20 случаев/10 лет), а в горных районах также очень сильные дожди (6-8 случаев/10 лет). Из гидрологических опасных явлений наиболее характерны подъемы уровней воды до опасных отметок при прохождении весеннего половодья.

2. Горная часть Уральского Прикамья в целом больше, чем равнинная, подвержена воздействию опасных метеорологических явлений. Восходящие движения воздушных масс перед Уралом обуславливают значительный (в 3-10 раз) рост повторяемости осадков опасной интенсивности, которые формируют высокие дождевые паводки. Ряд опасных явлений (гололедно-изморозевые отложения и Кизеловская бора) характерны только для горных районов Уральского Прикамья. Из урбанизированных территорий в неблагоприятной зоне по повторяемости и интенсивности опасных метеорологических явлений расположены города Губаха, Кизел, Красновишерск.

3. Значительный ущерб для природно-ресурсного потенциала региона связан с катастрофическими весенними половодьями, засухами и лесными пожарами, сильными шквалами и смерчами (которые приводят к массовым ветровалам в лесных массивах). Существенный социально-экономический ущерб могут нанести практически все виды опасных явлений, в случае их экстремальной интенсивности, продолжительности и/или территориального охвата. Наибольший ущерб может быть связан с катастрофическими весенними половодьями, засухами, сильными шквалами. Организация мониторинга этих опасных явлений на территории Уральского Прикамья является приоритетной.

4. Средствами ГИС-технологий на территории Уральского Прикамья выявлены зоны, затопление которых может повлечь наибольший социально-экономический и экологический ущерб. В случае прохождения половодья 1% обеспеченности в зону затопления попадают около 3000 жилых домов и 12 предприятий. В зоне наибольшего риска расположены г. Кунгур, с. Усть-Кишерть и пос. Яйва.

5. Разработана методика геоинформационного моделирования процессов формирования и таяния снежного покрова, с учетом пространственной неоднородности факторов подстилающей поверхности. Для расчета интенсивности снеготаяния на территории Уральского Прикамья может использоваться как метод теплового баланса снежного покрова (метод П.П. Кузьмина), так и упрощенные методы. В результате сопоставления расчетной и фактической заснеженности водосборов установлено, что в большинстве случаев разработанная модель адекватно описывает динамику снеготаяния, как в равнинных, так и в горных районах (расхождения расчетной и фактической заснеженности обычно не превышают 25%). При сопоставлении расчетного и фактического запаса воды в снеге в период снеготаяния в ряде случаев выявлены существенные расхождения (на отдельных станциях до 60-80 мм), которые могут быть связаны с ненадежностью данных снегосъемок в весенний период. В целом, разработанная методика позволяет учесть мезомасштабные особенности процессов снегонакопления и снеготаяния, обусловленные характером рельефа и растительного покрова, и может быть использована при прогнозировании опасных гидрологических явлений.

6. На основе анализа многолетних рядов данных ДЗЗ выполнена комплексная оценка ущерба для лесных ресурсов Уральского Прикамья от воздействия лесных пожаров, сильных шквалов и смерчей за 2001-2012 гг. Установлено, что от пожаров и ветровалов страдают преимущественно ценные спелые насаждения с преобладанием хвойных пород. Выявлена зона высокой повторяемости крупных пожаров в западной части Гайнского района, которая коррелирует с распространением сосновых лесов. Выявлено 7 случаев ветровалов, связанных со смерчами, что позволяет пересмотреть существующие оценки повторяемости смерчей на севере Уральского Прикамья.

7. Впервые для территории Уральского Прикамья адаптирована методика космического мониторинга засух на основе многолетнего ряда индекса условий вегетации. Подтверждена ее высокая эффективность для выявления признаков

сельскохозяйственной засухи и выявлена статистически значимая зависимость индекса условий вегетации от гидротермического коэффициента (коэффициент корреляции равен 0,64).

8. Разработанный web-картографический ресурс «Опасные природные явления Пермского края» используется для оперативного предоставления органам государственной власти, органам местного самоуправления и средствам массовой информации фактических и прогностических данных об опасных гидрометеорологических явлениях.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК

1. Пьянков С.В., Шавнина Ю.Н., Шихов А.Н. Математико-картографическое моделирование процессов снеготаяния // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 5; URL: <http://www.science-education.ru/105-7156> (дата обращения: 10.10.2012).
2. Пьянков С.В., Шавнина Ю.Н. Шихов А.Н. Комплексный подход в исследовании динамики процессов снеготаяния на водосборах рек // Вестник Удмуртского Университета, Сер. 6. Биология, Науки о Земле, 2012. №4. С. 136-145.
3. Ветров А.Л., Шихов А.Н. Анализ условий развития и оценка последствий сильных шквалов в Прикамье 18 июля 2012 года // Вестник Удмуртского Университета, Сер. 6. Биология, Науки о Земле. 2013. №2. С. 89 – 99.
4. Шихов А.Н., Свиязов Е.М. Прогнозирование динамики процесса снеготаяния на Западном Урале с применением мезомасштабной модели WRF/ARW // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4. URL: www.science-education.ru/110-9962 (дата обращения: 30.08.2013).
5. Шихов А.Н., Абдуллин Р.К., Максимова С.Е. Моделирование процесса снеготаяния на основе метода теплового баланса (на примере водосбора Воткинского водохранилища) // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 6. URL: <http://www.science-education.ru/113-10815> (дата обращения: 18.11.2013).
6. Пьянков С.В., Шихов А.Н. Исследование процессов снеготаяния методами геоинформационного моделирования (на примере территории Пермского края) // Вестник Удмуртского Университета, Сер. 6. Биология, Науки о Земле. 2013. №4. С. 123-131.

Статьи в журналах и научных сборниках

7. Пономарчук А.И., Шихов А.Н. Детектирование лесных пожаров в Пермском крае с использованием данных дистанционного зондирования Земли // Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края: сб. науч. тр. Пермь, 2011. Вып.4. С. 15-24.
8. Шихов А.Н., Маракулин Я.М. Оценка последствий лесных пожаров по ДДЗЗ на региональном уровне (на примере пожароопасного сезона 2010 г. в Пермском крае) // Геоинформационное обеспечение

- пространственного развития Пермского края: сб. науч. тр. Пермь, 2011. Вып.4. С. 25-35.
9. *Шихов А.Н.* Мониторинг процессов снеготаяния и развития весеннего половодья в Пермском крае в 2012 г. // Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края: сб. науч. тр. Пермь, 2012. Вып.5. С. 15-22.
 10. *Шихов А.Н.* Анализ условий развития и оценка последствий сильных шквалов в Пермском крае 18 июля 2012 г. // Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края: сб. науч. тр. Пермь, 2012. Вып.5. 102 с., с. 33-43.
 11. *Шихов А.Н., Максимова С.Е.* Создание картографической базы данных об опасных гидрологических явлениях в паводковый период в Пермском крае // Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края: сб. науч. тр. - Пермь, 2012. - Вып.5. - 102 с., с. 91-97.
 12. *Шихов А.Н.* Исследование последствий сильных шквалов и смерчей в Пермском крае с применением данных дистанционного зондирования Земли // Географический вестник, 2013, № 1. С. 78-87.
 13. *Шихов А.Н.* Космический мониторинг засух на территории Уральского Прикамья по многолетним рядам данных ДЗЗ // Географический вестник, 2013, № 4. С. 101-108.
 14. *Пьянков С.В., Пономарчук А.И., Шихов А.Н.* Космический мониторинг Пермского региона // Земля из Космоса – наиболее эффективные решения, 2013, №1, С. 37 -41.
 15. *Шихов А.Н.* Математико-картографическая модель формирования и таяния снежного покрова на водосборе Воткинского водохранилища // Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края: сб. науч. тр. Пермь, 2013. Вып. 6. С. 5-22.
 16. *Шихов А.Н., Абдуллин Р.К.* Моделирование зон затопления при образовании ледового затора на реках с помощью ГИС-технологий (на примере с. Бобровка и пос. Усьва Пермского края) // Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края: сб. науч. тр. Пермь, 2013. Вып. 6. С. 41-55.
 17. *Шихов А.Н., Быков А.В.* Информационно-аналитический сайт «Опасные природные явления Пермского края» // Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края: сб. науч. тр. Пермь, 2013. Вып. 6. С. 61-65.

Тезисы докладов

18. *Пономарчук А.И., Шихов А.Н.* Мониторинг лесных пожаров в Пермском крае: оценка эффективности по итогам пожароопасного сезона 2011 года // Сборник тезисов пятой международной конференции «Земля из космоса - наиболее эффективные решения». 2011. С.168-169.
19. *Шавнина Ю.Н., Шихов А.Н.* Комплексное исследование процессов снеготаяния с использованием ДДЗЗ и наземной сети метеостанций. // Использование геоинформационных систем и данных дистанционного

- зондирования Земли при решении пространственных задач: сб. науч. тр. Пермь, 2011. С. 69–76.
20. Шавнина Ю.Н., Русаков В.С., *Шихов А.Н.* Комплексное использование ДДЗЗ в исследовании процессов снеготаяния // Тезисы V Международной конференции «Земля из космоса - наиболее эффективные решения». М., 2011. С. 232–233.
21. *Шихов А.Н.* Оценка последствий лесных пожаров по космическим снимкам среднего разрешения // Ломоносов-2012, тезисы доклада. М., 2012.
22. Шавнина Ю.Н., *Шихов А.Н.* Применение геоинформационных систем и данных дистанционного зондирования Земли в исследовании процессов снеготаяния // Сборник материалов V Международной конференции «Геоинформационные технологии и космический мониторинг». Ростов-на-Дону, 2012. С. 192-195.
23. *Шихов А.Н.* Геоинформационное моделирование процесса снеготаяния на водосборах рек Уральского Прикамья // Тезисы доклада на конференции молодых специалистов по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Обнинск, НПО Тайфун, 2013. С. 370 - 373.
24. *Шихов А.Н.* Исследование последствий сильных шквалов и смерчей в Пермском крае с применением данных дистанционного зондирования Земли // Труды II Всероссийской конференции с международным участием «Окружающая среда и устойчивое развитие регионов». Казань, 2013. Т. 2. С. 147-151.
25. *Шихов А.Н.*, Абдуллин Р.К. Моделирование зон затопления при образовании ледового затора на реках с помощью ГИС-технологий (на примере с. Бобровка Пермского края) // Материалы международной конференции «Экология, Экономика, Информатика». Т. 2. Геоинформационные науки и экологическое развитие – новые подходы, методы, технологии. Геоинформационные технологии и космический мониторинг. Ростов-на-Дону, 2013. С. 207-211.
26. Пьянков С.В., *Шихов А.Н.*, Быков А.В. Разработка WEB-ресурса для мониторинга опасных гидрометеорологических явлений в Пермском крае // Тезисы докладов Всероссийской конференции «Обработка пространственных данных и дистанционный мониторинг природной среды и масштабных антропогенных процессов (DPRS2013)». Барнаул, 2013. С. 66.
27. *Шихов А.Н.* Математико-картографическое моделирование динамики снежного покрова на Западном Урале // Сб. тезисов Первой Международной конференции «Виноградовские чтения. Будущее гидрологии». СПб, 2013. С. 48-49.